

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/DE04/002816

International filing date: 22 December 2004 (22.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 103 61 569.5  
Filing date: 23 December 2003 (23.12.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 24 February 2005 (24.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND****Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 61 569.5

**Anmeldetag:** 23. Dezember 2003

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, 70469 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Optisches Abbildungssystem

**IPC:** G 01 M, G 02 B

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 11. Februar 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

  
Remus

19. Dez. 2003 - fle/poe

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

### Optisches Abbildungssystem

Die Erfindung bezieht sich auf ein optisches Abbildungssystem mit einer  
Anordnung von optischen Komponenten zum Erzeugen einer Abbildung einer zu-  
mindest abschnittsweise radialsymmetrischen Licht abstrahlenden Oberfläche  
eines Bauteils für eine optische Oberflächenmessung desselben, wobei die  
Flächennormale des radialsymmetrischen Bereichs in Messlage des Bauteils unter  
einem Winkel von höchstens  $90^\circ$  gegenüber der Bauteilachse bzw. der Symme-  
trieachse geneigt ist.

### Stand der Technik

Ein derartiges optisches Abbildungssystem ist beispielsweise in der  
WO02/14858 und der WO01/27558 angegeben. Dieses bekannte Abbildungssy-  
stem ermöglicht es, Messungen auch an Oberflächenbereichen in engen Boh-  
rungen durchzuführen, wobei bei der Abbildung Interferenzmuster erzeugt

werden, die mit Methoden der sogenannten Weißlichtinterferometrie aus-  
gewertet werden.

Grundsätzlich sind auch andere interferometrische Messmethoden zum Beur-  
teilen von Oberflächeneigenschaften geeignet, wie etwa die Heterodyninter-  
ferometrie. Allgemein sei zur Interferometrie auf A. Donges, R. Noll, in  
"Lasermesstechnik", Hüthig Verlag, 1993 und zur Heterodyninterferometrie auf  
H.J. Tiziani, "Optical methods for precision measurements", Optical and Quan-  
tum Electronics, Vol 21, 253-282, 1989 verwiesen. Oberflächeneigenschaften  
können beispielsweise Rauigkeit, geometrische Formen oder geometrische Form-  
abweichungen sein. Als optische Messmethoden kommen auch z.B. Methoden  
der Bildauswertung in Frage, die andere Informationen als die Interferenz-  
erscheinungen in der Abbildung bewerten.

Insbesondere auch die Fertigung von Präzisionsteilen erfordert zur Sicherung der  
Qualität der entsprechenden Bauteile geeignete Messmethoden zur Erfassung  
z.B. der Geometrie und der Beschaffenheit der Teile. Auch hierbei leisten die  
optischen Messmethoden wie die Bilderfassung und Bildauswertung sowie die  
Interferometrie wichtige Beiträge. Zusätzlich zu der Anforderung an die Präzision  
eines Messsystems bei der Erfassung der interessierenden Merkmale kommt die  
Anforderung an eine hohe Messgeschwindigkeit, die eine Integration des Mess-  
systems in einen schnellen und automatisierten Produktionsprozess ermöglicht.  
Diese Anforderungen lassen sich für viele Präzisionsteile, die z.B. eine vor-  
wiegend ebene Geometrie besitzen, durch bekannte Verfahren und verfügbare  
optische Komponenten erfüllen. Auch können bereits Messungen in engen Hohl-  
räumen mit den vorstehend genannten Systemen nach der WO02/14858 und  
WO01/27558 vorgenommen werden. Für eine Klasse von Präzisionsteilen, die  
z.B. durch gekrümmte Außenflächen des Bauteils oder annähernd durch einen

Außenkonus charakterisiert werden können, wie z.B. Ventalnadeln, existiert bisher keine zufriedenstellende Lösung, die die oben genannten Anforderungen gleichzeitig erfüllen könnte.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein optisches Abbildungssystem der eingangs genannten Art bereitzustellen, mit dem zumindest abschnittsweise radialsymmetrische Außen-Oberflächen derart abgebildet werden, dass die Oberflächeneigenschaften schnell und mit möglichst wenig Aufwand feststellbar sind.

#### Vorteile der Erfindung

Diese Aufgabe der Erfindung wird mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Hierbei ist vorgesehen, dass die Anordnung zum Vermessen von Außen-Oberflächen ausgebildet ist und einen dem Bauteil zuordenbaren Spiegel aufweist, der im Messzustand den von dem zu vermessenden radialsymmetrischen Bereich der Oberfläche abgestrahlten Strahlanteil erfasst und weiteren Abbildungskomponenten der Anordnung zur Aufbereitung der Abbildung zuführt.

Die auf diese Weise erreichte Abbildung des radialsymmetrischen Bereiches, beispielsweise einer abschnittweisen oder vollständigen Außenkonusfläche oder zylindrischen oder auch konkav oder konvex bezüglich der Achsrichtung gekrümmten Außenfläche, ergibt einen großen Messbereich, der mit einer Messung abgedeckt werden kann. Dies ermöglicht eine kurze Messzeit und in vielen Fällen, wie z.B. bei der Prüfung von Ventalnadeln, den Einsatz eines solchen optischen Messsystems in der automatisierten Fertigung.

Die genannten Maßnahmen ermöglichen das Sammeln eines großen Anteils der Lichtstrahlen, ausgehend von einem Punkt auf der radialsymmetrischen Außen-

5 oberfläche trotz des ungünstigen Abstrahlungswinkels. Dies lässt eine hohe Auflösung der Abbildung zu und trägt zu einer hohen Präzision des Messsystems bei.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

10 Die präzise Abbildung des zu vermessenden radialsymmetrischen Bereichs unter Abdeckung eines großen Messbereichs wird dadurch begünstigt, dass der Spiegel zumindest abschnittsweise radialsymmetrisch ausgebildet ist und im Messzustand zum direkten Aufnehmen des von dem Bereich abgestrahlten Lichts ausgebildet und angeordnet ist.

15 Der Aufbau des Abbildungssystems bei vorteilhafter Strahlführung wird auch dadurch begünstigt, dass der Spiegel umlaufend radialsymmetrisch ausgebildet ist und eine zentrale Öffnung aufweist und dass ein im Strahlengang dem Spiegel nachgeordnetes reflektierendes optisches Element das von dem Spiegel reflektierte Licht aufnimmt und durch die zentrale Öffnung lenkt.

20 Ist vorgesehen, dass das reflektierende optische Element ebenfalls radialsymmetrisch ausgebildet ist und eine zentrale Öffnung aufweist, ergibt sich eine einfache Anordnungsmöglichkeit z.B. auch langgestreckter Bauteile bezüglich des Abbildungssystems, woraus sich Vorteile beim Einsatz in einem Fertigungsprozess ergeben.

25 Um gewünschte Abbildungseigenschaften zu erzielen, sind des Weiteren die Maßnahmen von Vorteil, dass dem reflektierenden optischen Element zur Aufbereitung der Abbildung im Strahlengang Linsenelemente nachgeordnet sind.

5 Genaue Oberflächenmessungen können z.B. dadurch vorgenommen werden, dass die Anordnung so ausgebildet ist, dass sie eine interferometrisch auswertbare Abbildung erzeugt.

Ein vorteilhafter Aufbau lässt sich auch dadurch erreichen, dass die Anordnung einen flächenhaften Bildaufnehmer aufweist, auf den die Abbildung erfolgt.

10 Ist vorgesehen, dass die Anordnung als Objektarm eines interferometrisch arbeitenden Messsystems ausgestaltet ist, ergibt sich eine günstige Integration in ein derartiges Messsystem.

15 Für die Ankopplung an ein Auswertesystem können auch die Maßnahmen von Vorteil sein, dass die Anordnung in der Weise ausgebildet ist, dass sie ein Zwischenbild erzeugt.

20 Eine weitere Aufbauvariante besteht darin, dass dem Spiegel zur Aufnahme der von diesem reflektierten Strahlung ein transmissives optisches Element unmittelbar nachgeordnet ist.

25 Mit den vorstehend angegebenen Maßnahmen können die genannten, zumindest abschnittsweise radialsymmetrischen Außen-Oberflächenbereiche, wie etwa die Außenkonusflächen, vorteilhaft abgebildet werden. Derartige Außenflächen weisen, wenn sie optisch abgebildet werden, eine vorwiegende Abstrahlungsrichtung der Lichtstrahlen auf, die entlang der Flächennormalen verläuft. Diese Flächennormalen sind für die radialsymmetrischen Außen-Oberflächenbereiche, beispielsweise die Außenkonusflächen, radialsymmetrisch angeordnet und schließen, je nach Art des radialsymmetrischen Flächenbereiches, einen relativ großen Winkel von z.B.  $> 45^\circ$  gemessen zur Längsachse des radialsymmetri-

30

5 schen Bereichs ein. Die beschriebene Anordnung von optischen Flächen und  
 Komponenten ist in der Lage, die von der zu vermessenden Fläche des Bauteils  
 ausgehenden Lichtstrahlen so umzulenken und zu sammeln, dass trotz der un-  
 günstigen Abstrahlungsrichtung relativ zur Längsachse des radialsymmetrischen  
 Bereichs bzw. des Bauteils eine für die Auswertung geeignete Abbildung der  
 10 Fläche entsteht. Zusätzlich ist das optische System so ausgelegt, dass z.B. ein  
 gesamter umlaufender Bereich in ein Gebiet abgebildet wird, welches mit ein-  
 fachen Maßnahmen und in kurzer Zeit eine weitere Auswertung ermöglicht. Das  
 Bild eines Umlaufs der radialsymmetrischen Fläche kann direkt von einem flä-  
 chenhaft messenden Lichtdetektor, wie z.B. einer CCD-Kamera aufgefangen  
 werden oder einem weiteren optischen System zur Verfügung gestellt werden,  
 15 das z.B. auf der Grundlage der Weißlichtinterferometrie arbeitet.

Zum Auswerten der Abbildung wird diese vorteilhaft in einer zur optischen  
 Achse der Anordnung bzw. der Symmetrieachse des radialsymmetrischen, zu  
 vermessenden Oberflächenbereichs senkrechten Ebene erzeugt, wobei die Ab-  
 20 bildung auch Erhebungen oder Vertiefungen erhalten kann, die bei der weiteren  
 Auswertung z.B. durch Abtasten auf einfache Weise berücksichtigt werden kön-  
 nen. Beispielsweise kann auf diese Weise ein Übergangsbereich einer Außen-  
 konusfläche einer Ventilnadel in einen zylindrischen Bereich derselben vermessen  
 werden, wobei die kreisringförmige Übergangslinie zwischen den beiden Berei-  
 25 chen in der Abbildung als in Richtung des Strahlenganges am höchsten (zuvor-  
 derst) liegende Grad-Linie wiedergegeben wird.

#### Zeichnung

30 Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezug-  
 nahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:



Fig. 1 eine schematische Darstellung eines optischen Abbildungssystems  
für einen Außenkonus eines Bauteils mit einem Strahlenverlauf und

Fig. 2 einen vergrößerten Ausschnitt des Abbildungssystems nach Fig. 1.

#### Ausführungsbeispiel

Wie aus den Fig. 1 und 2 ersichtlich, ist einem Bauteil 20 ein optisches Abbildungssystem mit einer Anordnung 1 von optischen Komponenten zugeordnet, mit dem eine umlaufende radialsymmetrische Außenkonusfläche des Bauteils 20 beispielsweise auf einen Bildaufnehmer 6 einer Verarbeitungseinrichtung 7 abgebildet wird.

Ein von der zu vermessenden Außenkonusfläche 20.1 z.B. durch Reflexion abgestrahltes Strahlenbündel 10 trifft auf eine entsprechend der Außenkonusfläche 20.1 radialsymmetrisch um dieselbe Symmetrieachse umlaufende nutzbare Fläche 2.1 eines Spiegels 2, der eine zentrale Öffnung 2.2 aufweist. Das von der nutzbaren Fläche 2.1 des Spiegels 2 reflektierte Strahlenbündel 10 wird auf ein weiteres reflektierendes optisches Element 3, vorzugsweise in Form eines weiteren Spiegels, gerichtet und von diesem durch die Öffnung 2.2 des Spiegels 2 gelenkt und über im weiteren Strahlengang angeordnete Linsenelemente 4, 5 aufbereitet, um auf dem Bildaufnehmer 6 die optische Abbildung der zu vermessenden Außenkonusfläche 20.1 zu erzeugen. Das weitere reflektierende optische Element 3 besitzt ebenfalls einen zu der gemeinsamen Symmetrieachse radialsymmetrisch umlaufenden nutzbaren Flächenbereich 3.1, der eine zentrale Öffnung 3.2 umgibt. Das Bauteil 20 kann auf einfache Weise beispielsweise während eines Fertigungsprozesses durch die zentrale Öffnung 3.2 derart in das

optische Abbildungssystem eingeführt werden, dass es die für die gewünschte  
 5 Abbildung erforderliche relative Lage zu dem Spiegel 2 einnimmt.

Das zu vermessende Bauteil 20, z.B. eine Ventalnadel, wird also in dem op-  
 tischen Abbildungssystem positioniert, wobei die zentralen Öffnungen 2.2 und  
 3.2 des Spiegels und des weiteren reflektierenden optischen Elementes 3 eine  
 10 einfache Anordnung zulassen. Bei kürzeren Bauteilen ist auch eine Ausführungs-  
 form denkbar, bei der das weitere reflektierende optische Element in Form des  
 weiteren Spiegels 3 keine zentrale Öffnung besitzt und das Bauteil von der Seite  
 zwischen dem Spiegel 2 und dem weiteren reflektierenden optischen Element 3  
 eingeführt wird. Die genaue Form und Größe der Spiegel 2 und 3 ist dem zu  
 15 vermessenden Bauteil bzw. dem zu vermessenden radialsymmetrischen Bereich,  
 beispielsweise in Form der Außenkonusfläche 20.1 angepasst, um eine für die  
 nachfolgende Auswertung geeignete Abbildung zu erzeugen. Wird das abge-  
 strahlte Strahlenbündel 10 durch Reflexion erzeugt, so wird zumindest der zu  
 vermessende Bereich des Bauteils 20 je nach gewünschter Arbeitsweise des  
 20 auswertenden Verarbeitungsabschnittes des Messsystems geeignet beleuchtet.  
 Beispielsweise wird eine kurzkohärente Strahlung zur Beleuchtung verwendet,  
 wenn die Auswertung mittels Weißlichtinterferometrie vorgenommen werden  
 soll und Interferenzmuster zur Beurteilung der Oberflächeneigenschaften zu-  
 grunde gelegt werden sollen. Die Spiegel 2, 3 können neben den reinen Umlen-  
 25 kungseigenschaften auch zum Miterzeugen der gewünschten Abbildung Abbil-  
 dungseigenschaften besitzen und z.B. eben, konkav oder konvex gekrümmt sein  
 und auch in ihrem Neigungswinkel zum Führen des Strahlenbündels unterschied-  
 lich bezüglich der Symmetrieachse ausgerichtet sein.

Bei einer alternativen Ausführungsform des optischen Abbildungssystems ist es  
 30 auch denkbar, das weitere reflektierende optische Element 3 durch ein trans-

missives Element, wie z.B. eine Linse oder ein prismatisches Element oder dgl.  
zu ersetzen, so dass der Strahlengang im Vergleich zu Fig. 1 in der entgegen-  
gesetzten Richtung verläuft und durch nachgeordnete weitere Abbildungsele-  
mente aufbereitet werden kann.

Das Abbildungssystem kann z.B. ganz oder teilweise als Objektarm eines Inter-  
ferometers ausgebildet sein, dem ein Referenzarm zugeordnet ist, wie bei in-  
terferometrischen Messungen üblich. Das optische Abbildungssystem kann auch  
derart ausgebildet sein, dass mit ihm ein der Auswertung zugrunde zu legendes  
Zwischenbild erzeugt wird.

Mit dem optischen Abbildungssystem können insbesondere radialsymmetrische  
Flächenbereiche des Bauteils 20 für eine weitere Auswertung abgebildet wer-  
den, deren Flächennormalen schräg zur Symmetrieachse verlaufen und in einem  
Winkelbereich zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$  zur Symmetrieachse geneigt sind. Das  
heißt ein Winkel der Normalen von  $90^\circ$  zur Symmetrieachse würde zu einem  
zylindrischen Oberflächenbereich des Bauteils 20 gehören, während ein Nor-  
malenwinkel von  $0^\circ$  bezüglich der Symmetrieachse eine Fläche senkrecht zur  
Symmetrieachse darstellen würde. Jedoch hat das beschriebene optische Ab-  
bildungssystem insbesondere Vorteile bei zwischen diesen Grenzflächen schräg  
zur Symmetrieachse verlaufenden Flächennormalen.

19. Dez. 2003 - fle/poe

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

### Ansprüche

1.   Optisches Abbildungssystem mit einer Anordnung (1) von optischen Komponenten zum Erzeugen einer Abbildung einer zumindest abschnittsweise radialsymmetrischen Licht abstrahlenden Oberfläche (20.1) eines Bauteils (20) für eine optische Oberflächenmessung desselben, wobei die Flächennormale des radialsymmetrischen Bereichs in Messlage des Bauteils unter einem Winkel von höchstens  $90^\circ$  gegenüber der Bauteilachse geneigt ist,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Anordnung (1) zum Vermessen von Außen-Oberflächen (20.1) ausgebildet ist und einen dem Bauteil (20) zuordenbaren Spiegel (2) aufweist, der im Messzustand den von dem zu vermessenden radialsymmetrischen Bereich der Oberfläche abgestrahlten Strahlanteil erfasst und weiteren Abbildungskomponenten der Anordnung (1) zur Aufbereitung der Abbildung zuführt.
2.   Abbildungssystem nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Spiegel (2) zumindest abschnittsweise radialsymmetrisch ausgebildet ist und im Messzustand zum direkten Aufnehmen des von dem Bereich abgestrahlten Lichts ausgebildet und angeordnet ist.

3. Abbildungssystem nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Spiegel (2) umlaufend radialsymmetrisch ausgebildet ist und eine  
zentrale Öffnung (2.2) aufweist und  
dass ein im Strahlengang dem Spiegel (2) nachgeordnetes reflektierendes  
optisches Element (3) das von dem Spiegel (2) reflektierte Licht aufnimmt  
und durch die zentrale Öffnung (2.2) lenkt.

4. Abbildungssystem nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das reflektierende optische Element (3) ebenfalls radialsymmetrisch  
ausgebildet ist und eine zentrale Öffnung (3.2) aufweist.

5. Abbildungssystem nach Anspruch 3 oder 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass dem reflektierenden optischen Element (3) zur Aufbereitung der Ab-  
bildung im Strahlengang Linsenelemente (4, 5) nachgeordnet sind.

6. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Anordnung (1) so ausgebildet ist, dass sie eine interferometrisch  
auswertbare Abbildung erzeugt.

7. Abbildungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Anordnung (1) einen flächenhaften Bildaufnehmer (6) aufweist,  
auf den die Abbildung erfolgt.

5 8. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Anordnung (1) als Objektarm eines interferometrisch arbeitenden  
Messsystems ausgestaltet ist.

10 9. Abbildungssystem nach Anspruch 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Anordnung (1) in der Weise ausgebildet ist, dass sie ein Zwi-  
schenbild erzeugt.

15 10. Abbildungssystem nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 4 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass dem Spiegel (2) zur Aufnahme der von diesem reflektierten Strah-  
lung ein transmissives optisches Element unmittelbar nachgeordnet ist.

19. Dez. 2003 - fle/poe

5

Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

10

15

**Zusammenfassung**

20

25

30

Die Erfindung bezieht sich auf ein optisches Abbildungssystem mit einer Anordnung (1) von optischen Komponenten zum Erzeugen einer Abbildung einer zumindest abschnittsweise radialsymmetrischen Licht abstrahlenden Oberfläche (20.1) eines Bauteils (20) für eine optische Oberflächenmessung desselben, wobei die Flächennormale des radialsymmetrischen Bereichs in Messlage des Bauteils unter einem Winkel von höchstens  $90^\circ$  gegenüber der Bauteilachse geneigt ist. Radialsymmetrische Außen-Oberflächenbereiche mit schräg zur Symmetrieachse gerichteten Flächennormalen können der Prüfung von Oberflächeneigenschaften auf schnelle und einfache Weise dadurch zugänglich gemacht werden, dass die Anordnung (1) zum Vermessen von Außen-Oberflächen (20.1) ausgebildet ist und einen dem Bauteil (20) zuordenbaren Spiegel (2) aufweist, der im Messzu-stand den von dem zu vermessenden radialsymmetrischen Bereich der Oberfläche abgestrahlten Strahlanteil erfasst und weiteren Abbildungskomponenten der Anordnung (1) zur Aufbereitung der Abbildung zuführt (Fig. 1).

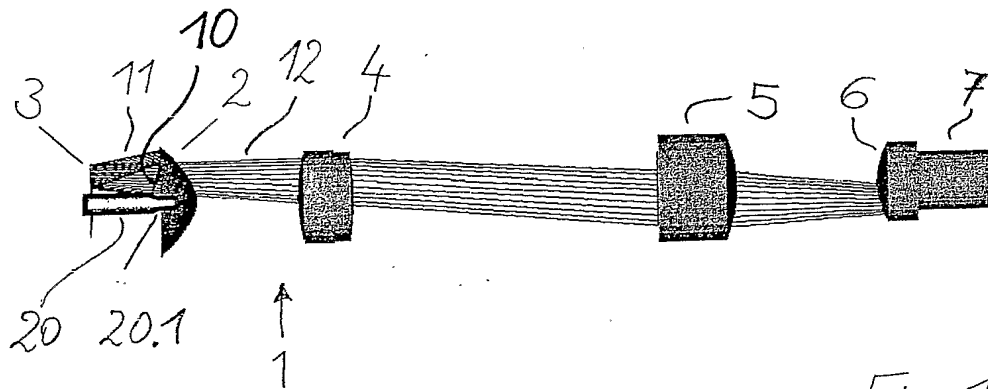


Fig. 1

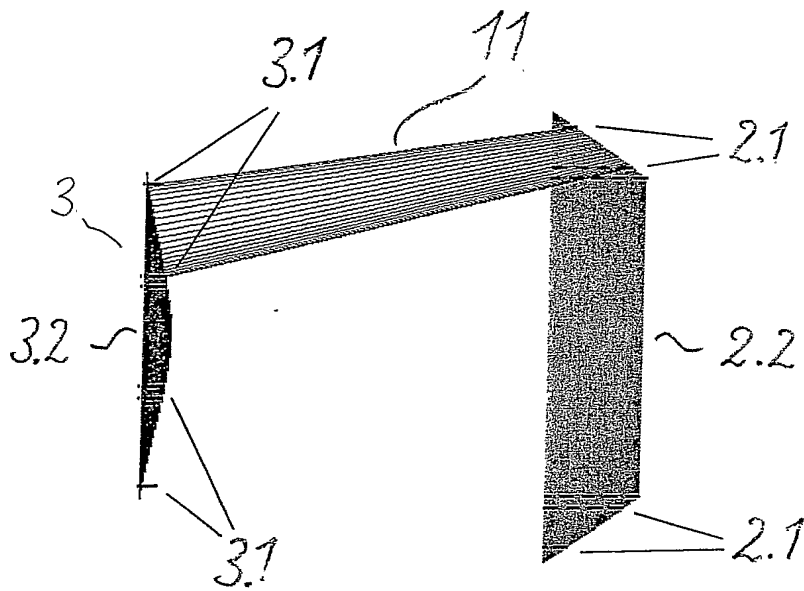


Fig. 2